[논문] 열처리공학회지, 제14권 제1호(2001)
J. of the Korean Society for Heat Treatment, *Vol. 14, No. 1, (2001) pp. 17~21*

Cu-Cr 합금의 인장강도와 전기전도도에 미치는 Cr 첨가량 및 가공열처리의 영향

金紀兌 · 鄭雲載 · 申翰澈* · 崔鍾述*
한국생산기술연구원
*연세대학교 금속공학과

Effects of Cr content and Thermomechanical Treatment on Tensile Strength and Electrical Conductivity of Cu-Cr Alloys

Ki-Tae Kim, Woon-Jae Jung, Han-Chul Shin* and Chong-Sool Choi*
Korea Institute of Industrial Technology, Inchon 404-254, Korea
**Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

Abstract The effects of Cr content above its solubility limit and thermomechanical treatment on tensile strength and electrical conductivity of Cu-Cr alloys were studied to obtain optimum Cr content exhibiting a high tensile strength without degradation of electrical conductivity. The increase in Cr content above the solubility limit increased tensile strength of Cu-Cr alloys without deterioration of the electrical conductivity. The electrical conductivity was not affected by cold rolling. The electrical conductivity of a Cu-3.5%Cr alloy subjected to cold rolling → aging treatment (450°C × 1 hr) → cold rolling was equal to that of the alloy subjected to cold rolling → aging treatment. However, the tensile strength of the alloy subjected to the former thermomechanical treatment was superior to that of the alloy subjected to the latter thermomechanical treatment at all the deformation degrees.

(Received December 19, 2000)

Key words: *Copper, Chromium, Tensile strength, Electrical conductivity, Aging, Thermomechanical treatment*

1. 서 론

Cu-Cr 합금은 높은 전기 전도도와 인장강도를 겸비하고 있어 전자 부품 소재, 전기 접점재 및 용접기 tip용 소재 등 그 용도가 다양하다.

Cu-Cr 합금은 석출 강화형 합금으로서, 고용한(약 0.4 %) 정도의 Cr을 함유한 합금을 1000~1050°C의 온도에서 용체화 처리한 후 400~500°C의 온도에서 시효 처리하여 사용하고 있다. 지금까지의 Cu-Cr 합금에 관한 연구는 대부분 이와 같은 고용한 부근의 Cr을 함유한 합금을 가지고 시효 처리 조건, 소성 가공 조건, 제3 합금 원소의 첨가 등에 따른 석출 경화 거동과 그것에 따른 기계적 특성 및 전기전도도 변화 등을 조사하였다[1-3]. 그러나 최근에 이르러 이러한 석출 강화형 Cu-Cr 합금의 높은 전기 전도성을 그대로 유지하면서 인장강도를 더욱 향상시키기 위한 새로운 조성의 Cu-Cr 합금에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4-7].

본 연구에서는 종래의 연구와는 달리 고용한 이상으로 Cr을 첨가한 Cu-Cr 합금에서 Cr량이 인장강도 및 전기 전도도에 미치는 영향을 조사하였으며, 또한 이 합금의 전기 전도도를 저하시키지 않으면서 보다 높은 인장 강도를 얻기 위하여 특수 가공 열처리를 행한 다음 인장 강도 및 전기 전도도의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

실험합금은 진공 유도 용해로를 사용하여, 알루미나 도가니에 Cu(99.9%), Cr(99.5%) 및 Cu-10%Cr 모합금을 소정량 평량하여 장입한 후 용해하였다. 용탕을 금형에 주입하여 60 mm × 100mm × 110mm의 ingot으로 주조하였다. Table 1은 ingot의 화학 조성을 분석한 결과이다. 합금의 종류는 고용한 근처의 Cr량을 갖는 합금(alloy 1, 2)과 고용한 이상의 Cr량을 갖는 합금(alloy 3, 4, 5)으로 나눌 수 있다.

각 ingot을 약 900°C의 온도에서 두께 10 mm × 폭 110 mm의 판재로 열간 압연한 후 1010°C의 온도에서

Table 1. Chemical composition of Cu-Cr alloys.

(wt.%)

alloy	Cr	Cu
1	0.33	bal.
2	0.56	bal.
3	3.5	bal.
4	9.4	bal.
5	14.9	bal.

1시간 용체화 처리하였다. 이들 판재를 다시 각각 1 mm(η=2.3), 0.7 mm(η=2.6), 0.3 mm(η=3.5) 두께로 냉간 압연한 후 400~500°C의 온도에서 1시간 시효 처리하였다. 이때 냉간 압연재의 가공율 η은 다음 식으로 산출하였다.

$$\eta = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

여기서 A_0는 가공전 단면적, A는 가공후 단면적을 각각 나타낸다.

또한 가공 열처리 조건에 따른 인장 강도 및 전기 전도도의 변화를 비교하기 위하여, 용체화 처리한 판재를 1 mm(η=2.3)로 냉간 압연하고 450°C의 온도에서 시효 처리한 후 0.7mm(η=2.6), 0.3mm(η=3.5) 두께의 판재로 각각 냉간 압연하였다. 미세 조직은 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였고, 인장 시험은 상온에서 실시하였으며, 전기 전도도는 상온에서 digital conductivity meter를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Cr 첨가량에 따른 냉간 압연재(η=2.3)의 인장 강도의 변화를 나타낸 것이다. Cr 첨가량이 증가할수록 인장 강도가 직선적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Cr 첨가량이 고용한 이하인 냉간압연재에서는 Cr에 의한 고용 강화와 가공에 의한 가공 경화가 강화 기구로 작용하고, 고용한 이상의 합금에서는 고용 강화와 가공 경화뿐 아니라 미고용 Cr상의 분산에 의한 분산 강화와 Cr상 자체의 강화 효과가 전체 강도에 기여하고 있다고 생각된다.

Fig. 2는 Cr 첨가량에 따른 냉간 압연재(η=2.3)의 전기 전도도의 변화를 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 고용한 이하에서는 Cr량이 증가할수록 전기 전도도가 급히 감소하지만, 고용한 이상의 합금에서는 Cr량이 증가해도 전기 전도도는 거의 일정한 값을 나타낸다. 이는 전기 전도도가 석출된 Cr량에는 의존하지 않고, 고용된 Cr량에만 강하게 의존함을 의미한다.

Fig. 3은 가공율에 따른 압연재의 인장 강도의 변화를 나타낸 것이다. 고용한 이상의 Cr이 첨가된 합금들은 고용한 근처의 Cr이 첨가된 합금들(Cu-0.33%Cr, Cu-0.56%Cr)에 비해 가공율에 따른 인장 강도의 증가율이 큰 것을 볼 수 있다. 이 이유는 Funkenbusch등[8]이 보고한 바와 같이 미고용 Cr상이 존재하는 Cu-Cr 합금을 냉간 가공할 때 경한 Cr상은 소성 변형되지 않고

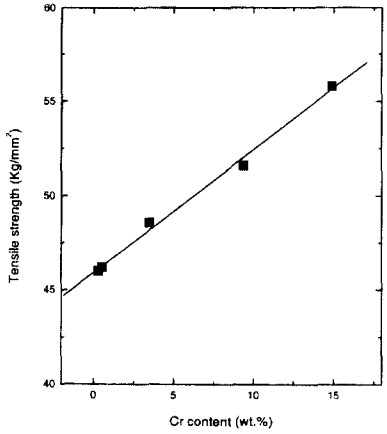

Fig. 1. Effect of the Cr content on the tensile strength of Cu-Cr alloys, subjected to the cold rolling (η=2.3) after the solution treatment at 1010°C.

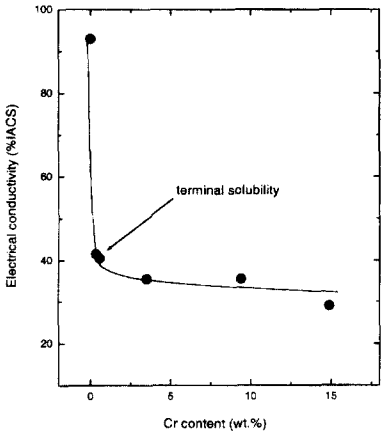

Fig. 2. The variation in electrical conductivity of cold-rolled (η=2.3) Cu-Cr alloy with the Cr content.

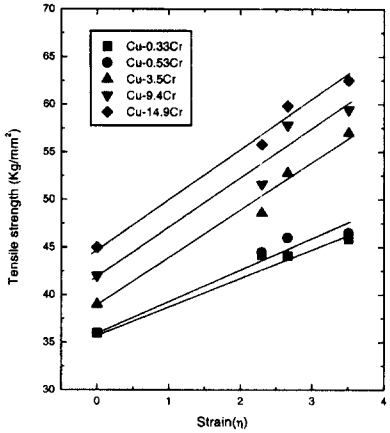

Fig. 3. The variation of tensile strength with the deformation stratin in the cold-rolled Cu-Cr alloys.

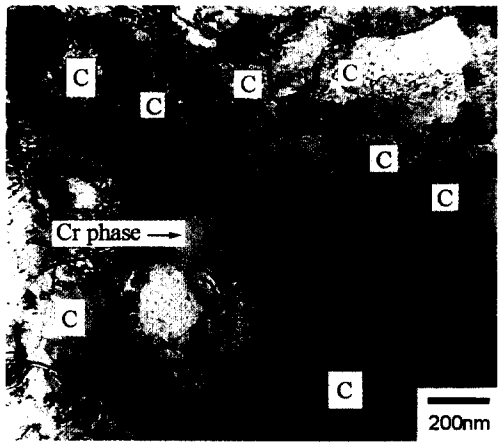

Fig. 4. Bright-field transmission electron micrograph of a cold-rolled Cu-3.5%Cr alloy (η=3.51): Mark C indicates dislocation cells.

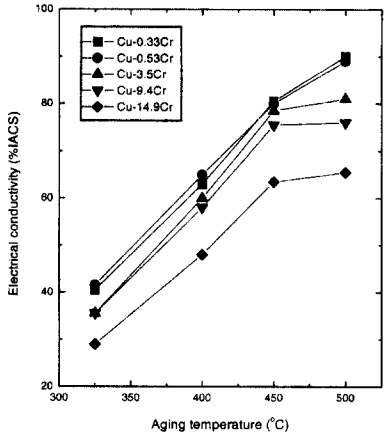

Fig. 5. The Effect of aging temperature on the electrical conductivity of the cold-rolled (η=2.3) Cu-Cr alloys.

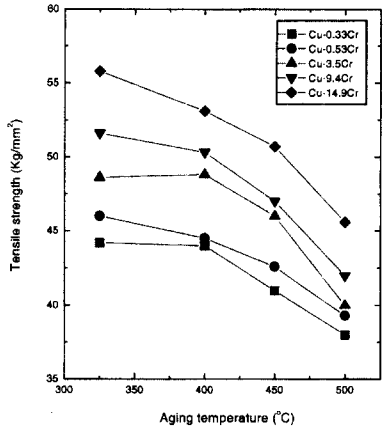

Fig. 6. The effect of aging temperature on the tensile strength of cold-rolled (η=2.3) Cu-Cr alloys.

연한 Cu 기지만 집중적으로 소성 변형되기 때문에, Fig. 4에서 보는바와 같이 Cu 기지에 수많은 전위셀(dislocation cells)이 형성되며 이것들이 가공 경화에 기여하기 때문에, 미고용 Cr상이 존재하는 Cu-Cr 합금의 인장 강도가 가공율에 따라 크게 증가한다고 생각된다.

Fig. 2에서 알 수 있듯이 냉간 압연 상태에서의 Cu-Cr 합금의 전기 전도도는 고용 Cr으로 인하여 전기 전도도가 낮기 때문에 시효 처리를 통하여 고용 Cr량을 석출시킴으로써 전기 전도도를 높여 주어야 한다. Fig. 5 및 Fig. 6은 시효 온도에 따른 Cu-Cr 합금의 전기 전도도 및 인장강도의 변화를 각각 나타낸 것이다. 시효 온도에 따른 냉간 압연재(η=2.3)의 전기 전도도는 시효 온도 증가에 따라서 급격히 상승하여 약 450°C에서 최대치에 도달한 것을 볼 수 있다. 이로부터 Cu에 과포화 고용되어 있던 Cr은 450°C에서 대부분 빠져나와 석출물(Cr상)로 형성된 것으로 판단된다. 한편 시효 온도에 따른 전기 전도도 변화양상이 모든 합금에서 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. 이것은 시효 온도에 따른 전기 전도도 변화는 고용 Cr량과 관련되어 있는데, Cu에의 Cr 고용량은 1000°C 온도에서 약 0.4wt.%로서 합금 종류에 관계없이 거의 같기 때문이다. Fig. 6에서 시효 온도 증가에 따라서 냉간 압연재(η=2.3)의 인장강도는 점차 낮아지고 있다. 이것은 시효 처리를 함으로써 과포화 고용된 Cr 석출에 의한 석출 강화 효과보다 냉간 압연시 도입된 전위 밀도 감소 효과가 더 크

기 때문이다.

Fig. 5 및 Fig. 6에서 알 수 있듯이 450°C에서 시효 처리한 Cu-3.5%Cr 합금은 고용한 근처의 Cr이 첨가된 합금들(Cu-0.33%Cr, Cu-0.56%Cr)과 비교하여 동등한 수준의 전기 전도도를 유지하면서 약간 높은 인장강도를 나타내고 있다. Cu-3.5%Cr 합금의 전기 전도도를 저하시키지 않으면서 보다 더 높은 인장 강도를 얻기 위하여 시효 처리 후 냉간가공을 행하였다. Fig. 7 및 Fig. 8에 냉간 압연, 냉간 압연→시효 처리, 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연을 각각 실시한 Cu-3.5%Cr 합금의 전기 전도도와 인장 강도를 가공율에 대해 나타냈다. 이때 시효 처리는 450°C × 1 hr이었다. Fig. 7에서 각 시편의 가공율에 따른 전기 전도도 변화는 거의 없으며, 냉간 압연→시효 처리한 시편과 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편의 전기 전도도는 거의 비슷한 수준인 것을 볼 수 있다. Fig. 8에서 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편은 냉간 압연→시효 처리한 시편에 비해 인장 강도가 높으며, 가공율 증가에 따라서 인장 강도 차이가 더욱 커진 것을 볼 수 있다. 가공율 3.5에서의 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편의 인장 강도는 냉간 압연→시효 처리한 시편에 비해 약 30% 정도 높은 것을 볼 수 있다. 또한 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편는 냉간 압연→시효 처리한 시편뿐만 아니라 냉간 압연한 시편에 비해서도 가공율에 따른 인장 강도 증가율이 큰 것을 알 수 있다. 이와 같이 냉간 압연→시효 처리한 시편에 비해 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편의 인장 강도가 높

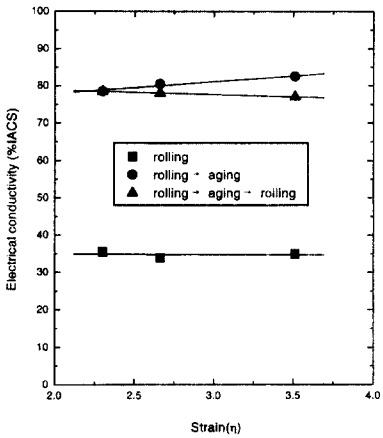

Fig. 7. The variation of electrical conductivity with the deformation strain for a Cu-3.5%Cr alloy subjected to various thermo-mechanical treatments.

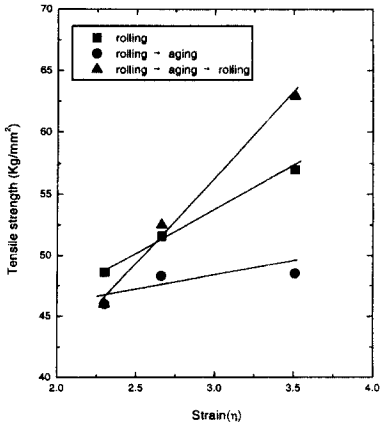

Fig. 8. The variation of tensile strength with the deformation strain for a Cu-3.5%Cr alloy subjected to various thermo-mechamical treatments.

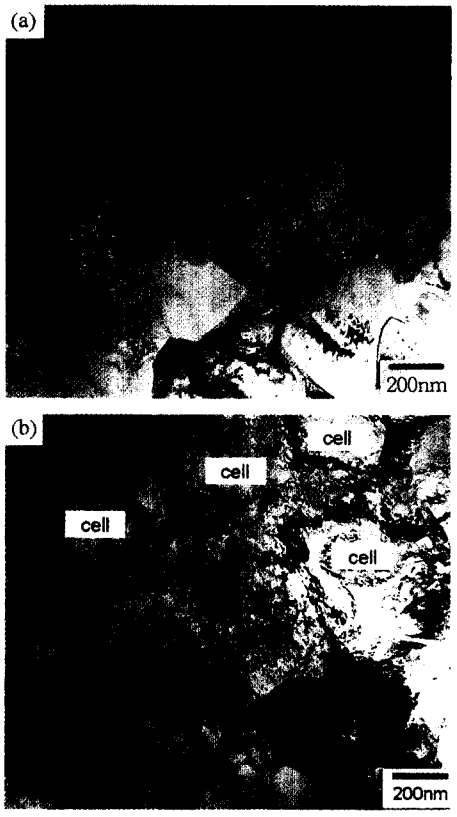

Fig. 9. Bright-field transmission electron micrographs of Cu-3.5%Cr alloys: (a) cold rolling→aging, (b) cold rolling →aging→cold rolling.

은 것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, 냉간 압연→시효 처리한 시편은 시효 처리 중 냉간 압연시 Cu 기지조직에 도입되었던 전위의 밀도가 낮아져서 인장 강도가 저하되나, 냉간 압연→시효 처리→냉간 압연한 시편은 냉간 압연에 의해 다시 Cu 기지의 전위 밀도가 높아져서 인장 강도가 높아진다고 생각된다. Fig. 9는 Cu-3.5%Cr 합금을 냉간 압연(η=3.5)→시효 처리(450 °C × 1hr)한 경우와 냉간 압연(η=3.5)→시효 처리(450 °C × 1hr)→냉간 압연(η=3.5)한 경우의 투과 전자 현미경 조직을 보여준다. 전자의 조직에서는 시효처리중 전위가 대부분 소멸되고 부분적으로 잔류하고 있지만, 후자의 조직에서는 무수히 많은 전위가 도입되어 많은 전위셀들을 형성하고 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

고용한 이하의 Cu-Cr 합금과 거의 동등한 전기 전도도를 유지하면서 보다 높은 인장 강도를 얻기 위하여, 고용한 이상의 Cr을 첨가하여 Cu-Cr 합금의 전기 전도도와 인장 강도를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고용한 이상의 Cr을 함유한 Cu-Cr합금의 인장 강도는 Cr량의 증가와 더불어 증가하지만, 전기 전도도는 Cr량에는 관계없이 거의 일정한 값을 나타냈다.

2) Cu-Cr합금의 전기 전도도는 냉간 가공율에 영향을 받지 않았다.

3) 냉간 압연→시효 처리(450°C × 1 hr)→냉간 압연한 시편의 전기 전도도는 냉간 압연→시효 처리한 시편의 전기 전도도와 거의 같았으나, 인장 강도는 전자의 경우가 후자의 경우보다 압연율의 증가와 더불어 월등히 높았다.

참고문헌

1. J. Rys and Z. Rdzawski: Metals Technology, (1980) 32.
2. C. J. Kim and J. M. Lee: J. Mater. Processing & Manufacturing Science, 2 (1994) 325.
3. R. O. Williams: Trans. ASM, 52 (1960) 530.
4. Y. Jin, K. Adachi, T. Takeuchi and H. G. Suzuki: Appl. Phys. Lett., 69 (1996) 1391.
5. K. Adachi, S. Tsubokawa, T. Takeuchi and H. G. Suzuki: J. Jap. Inst. Met., 61 (1997) 391.
6. M. M. Dadras and D. G. Morris: Scripta Mater., 38 (1998) 199.
7. K. Mihara, T. Takeuchi and H. G. Suzuki: J. Jap. Inst. Met., 62 (1998) 599.
8. P. D. Funkenbusch, T. H. Courtney and D. G. Kubisch: Scripta Metall., 18 (1984) 1099.